



دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی قزوین

# طراحی و ساخت نازل‌های جت چندگانه به منظور کنترل صدای هوای فشرده و انتخاب نازل بهینه

استاد مشاور:  
دکتر علی صفری واریانی

استاد راهنما:  
دکتر سعید احمدی

دانشجو:  
علی دست آموز

تیر - ۱۳۹۷



## بیان مسئله و مقدمه

یکی از جدی ترین مشکلات سروصدا: صدای ناشی از **تخلیه هوا، بخار و یا جریان گاز در اتمسفر** **تخلیه** هوای فشرده از لوله‌هایی با سوراخ‌های کوچک به شکل **جریان‌های جت با سرعت بالا** کاربرد: حذف قطعات، زدودن و برداشتن براده‌ها، خنک سازی، پخش رنگ و ... سروصدای جت سومین عامل مهم **ناشنوایی صنعتی** پس از ضربه صوتی و صدای ناشی از جابجایی مواد تراز فشار صوت در فاصله **۳ فوت** از یک نمونه نازل تخلیه هوا با قطر **۱/۴** اینچ اغلب بین **۱۰۵-۱۰۷** دسی بل برخورد هوای فشرده با **سرعت بالا** با هوای نسبتاً **راکد اتمسفر آشفته‌گی زیادی** ایجاد می‌کند که باعث تولید تراز صدای بالایی می‌شود. **توان صوت با توان هشتم سرعت جریان هوا متناسب است**، بنابراین **اولین گام** در کنترل صدای هوای فشرده **کاهش سرعت جریان هوا** تا حد ممکن است.



## بیان مسئله و مقدمه

روش های زیادی برای کنترل سروصدای جت بر مبنای **اتلاف انرژی جنبشی** جریان مطرح شده اند. برای کارهایی که نیاز به **نیرو یا حجم بالای هوا** دارند، روش های کنترل صدا وابسته به اتلاف انرژی کنیتیکی جت عملی نیست. چرا که با این روش ها توان صوتی منتشر شده **کاهش** می یابد، اما **مصرف هوای فشرده را افزایش** خواهد یافت.

**دو روش** پیشنهادی برای کنترل سروصدای **بدون آسیب زدن به راندمان** کار جریان های جت:

- ✓ اضافه کردن یک **جریان ثانویه** به عنوان **نازل پوششی**
- ✓ استفاده از **نازل های جت چندگانه** است که از **چندین** جت کوچکتر به جای یک **جت اصلی** استفاده می کند.



# اهداف پژوهش

## هدف کلی:

طراحی و ساخت نازل های جت چندگانه به منظور کنترل صدای هوای فشرده و انتخاب نازل بهینه



# اهداف پژوهش

## اهداف اختصاصی

- ✓ اندازه گیری نیرو، تراز فشار صوت هوای فشرده و آنالیز فرکانسی یک اکتاوباند در نازل لوله باز در فشارهای ۳، ۵ و ۷ بار
- ✓ طراحی و ساخت نازل های جت چندگانه با خروجی های دایره ای، مستطیلی (شکاف دار)، مخروطی، دایره ای پره دار و دایره ای پره دار همراه با روزنه مرکزی با استفاده از نرم افزار Solid Works 2016 و پرینتر سه بعدی
- ✓ اندازه گیری نیرو، تراز فشار صوت هوای فشرده و آنالیز فرکانسی یک اکتاوباند نازل های جت چندگانه در فشارهای ۳، ۵ و ۷ بار



# اهداف پژوهش

## اهداف اختصاصی

- ✓ بررسی عملکرد **کاهش صوتی** نازل های جت چندگانه و تعیین نازل جت چندگانه با بهترین عملکرد کاهش صوتی (**نازل بهینه**)
- ✓ ساخت **نازل بهینه** از جنس استیل با استفاده از دستگاه CNC و بررسی **تراز فشار صوت و نیرو**



## فرضیات پژوهش یا سوالات پژوهشی

- ✓ نازل های جت چندگانه موجب کاهش تراز فشار صوت ناشی از هوای فشرده نسبت به نازل لوله باز می شوند.
- ✓ نازل جت چندگانه شکاف دار عملکرد کاهش صوتی بهتری نسبت به نازل جت چندگانه با خروجی های دایره ای دارد.
- ✓ نازل جت چندگانه با خروجی های مخروطی عملکرد کاهش صوتی بهتری نسبت به نازل جت چندگانه شکاف دار دارد.
- ✓ نازل جت چندگانه با خروجی های دایره ای و پره دار عملکرد کاهش صوتی بهتری نسبت به نازل جت چندگانه با خروجی های مخروطی دارد.



## فرضیات پژوهش یا سوالات پژوهشی

- ✓ نازل جت چندگانه با خروجی های **دایره ای و پره دار** همراه با روزنه مرکزی عملکرد **کاهش صوتی** بهتری نسبت به نازل جت چندگانه با خروجی های **دایره ای و پره دار** دارد.
- ✓ **نیروی اعمال شده** توسط نازل های جت چندگانه در **سطح مقطع خروجی** یکسان با یکدیگر **برابر** است.
- ✓ **نیروی اعمال شده** توسط نازل های جت چندگانه در **سطح مقطع خروج** هوای **یکسان** با نازل لوله باز **برابر** است.
- ✓ **نازل جت چندگانه فلزی** از نظر عملکرد کاهش صوتی **تفاوتی** با نازل **بهینه** ندارد.





## مروری بر مطالعات و متون گذشته

محققین	سال	یافته ها
احمدی و همکاران	۲۰۱۷	تراز فشار صوت نازل جت چندگانه به طور قابل توجهی کمتر از نازل مرسوم است. اختلاف قابل توجهی بین متوسط نیروی اعمال شده توسط نازل مرسوم و نازل جت چندگانه مشاهده نشد.
Sheen	۲۰۱۱	ویژگی‌های صدای تولید شده توسط یک نازل جت چندگانه با شکل مخروطی مشابه صدای تولید شده توسط یک نازل جت چندگانه با خروجی‌های توزیع شده روی یک سطح صاف و مسطح است. مقایسه با یک نازل جت تک شکاف با مساحت خروجی مشابه نشان داد که نازل‌های جت چندگانه موجب کاهش تراز فشار صوت می شود.
Sheen	۲۰۱۱	نتایج مطالعه نشان داد تا زمانی که مجموع مساحت خروجی ثابت است، افت نیروی محسوس و قابل توجهی در نازل جت چندگانه نسبت به نازل لوله باز در سرعت جریان ثابت مشاهده نمی شود.



## جمع بندی و نتیجه گیری بیان مسئله

✓ **ضرورت** کنترل صدای هوای فشرده

✓ **مؤثر و کارآمد بودن** استفاده **نازل های جت چندگانه** در کنترل صدای هوای فشرده

✓ **مطالعات محدود** انجام شده در زمینه استفاده از نازل های جت چندگانه

✓ **انجام مطالعات بیشتر** در مورد نازل های جت چندگانه به منظور کنترل صدای هوای فشرده



## مواد و روش کار

### نوع مطالعه:

تجربی - کاربردی

### جامعه و مکان پژوهش:

نازل های جت چندگانه و نازل لوله باز - آزمایشگاه پیلوت دانشگاه علوم پزشکی قزوین

### روش نمونه گیری و حجم نمونه:

تمام نازل های جت چندگانه (۱۵ نمونه) ساخته شده و همچنین نازل لوله باز مورد بررسی و مطالعه قرار می گیرد.

### روش گرد آوری داده ها:

طراحی و ساخت نازل های جت چندگانه و تست نازل ها

## مواد و روش کار

### ۱- طراحی و ساخت نازل ها:

**شکل هندسی** نازل های جت چندگانه مورد مطالعه در این پژوهش با **الگوبرداری** از چهار نمونه نازل های تجاری شرکت سیلونت طراحی می شود. **پرو فایل و شکل اصلی** تمام نازل های مورد مطالعه **یکسان** و فقط از نظر **شکل خروجی، سائز خروجی، پره دار بودن یا نبودن و وجود یا عدم وجود روزنه مرکزی** متفاوت خواهند بود.

سطح مقطع نازل های جت چندگانه طراحی شده **برابر** با نازل لوله باز در نظر گرفته می شود. **طراحی** نازل های جت چندگانه با استفاده از نرم افزار **Solid Works 2016** و **ساخت** نازل ها توسط دستگاه پرینتر سه بعدی انجام می شود. از هر کدام از نازل های جت چندگانه طراحی شده **سه نمونه** با پرینتر سه بعدی ساخته می شود. ماده مورد استفاده در پرینتر سه بعدی برای ساخت نازل های جت چندگانه از دسته **رزین های پلیمری** است.

## مواد و روش کار

$$F_p = \frac{V}{5D}$$

رابطه ۱-۳

$F_p$ : فرکانس پیک (هرتز)

$V$ : سرعت خروجی (متر بر ثانیه)

$D$ : قطر خروجی (متر)

## مواد و روش کار

$$T = \frac{W.V}{g}$$

رابطه ۲-۳

T: نیروی اعمال شده (پوند)

W: فلوی جرمی (پوند بر ثانیه)

V: سرعت خروجی (فوت بر ثانیه)

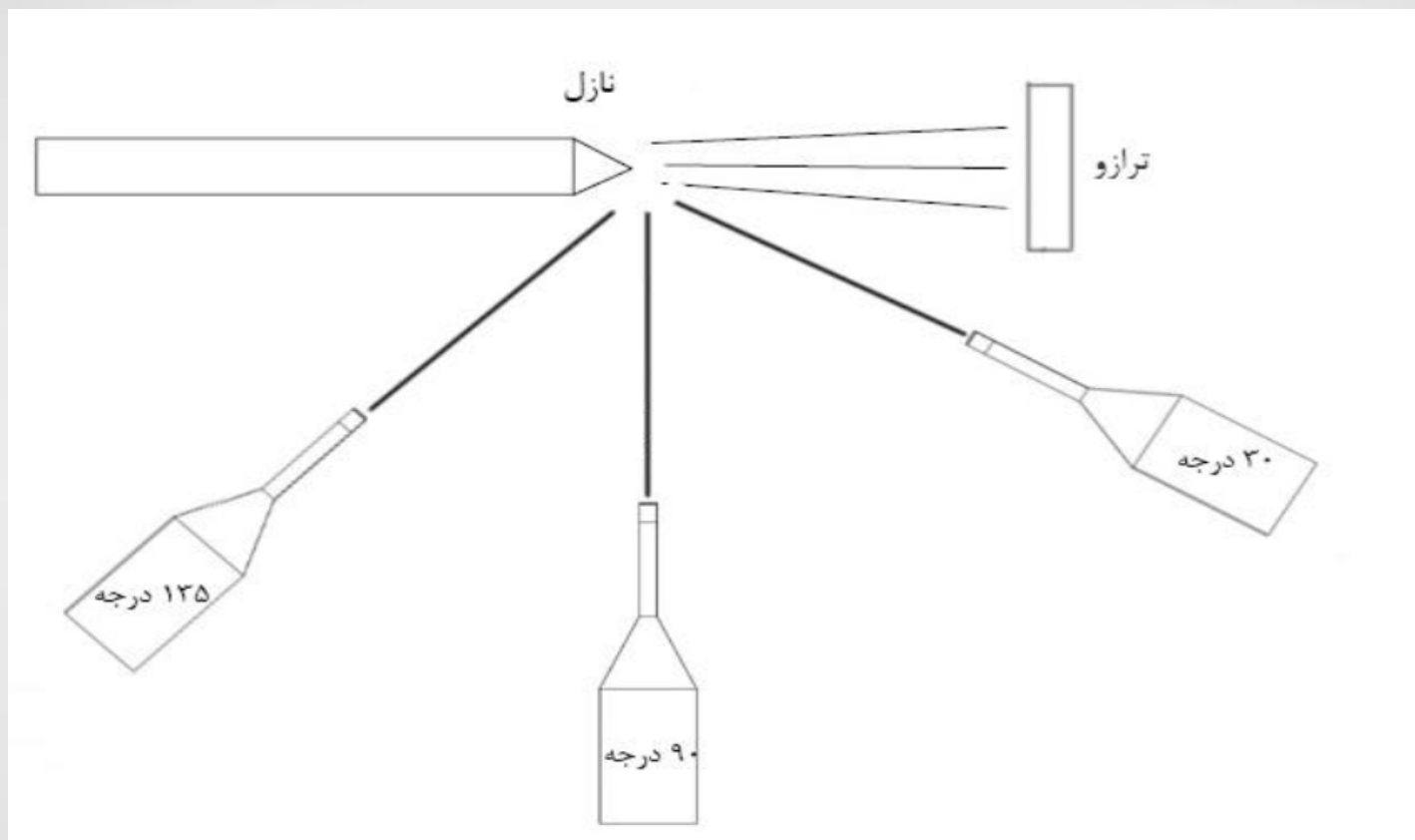
g: شتاب گرانشی (فوت بر مجذور ثانیه)

## مواد و روشی کار

### ۲- تست نازلها:

اندازه‌گیری **تراز فشار صوت و آنالیز فرکانس صوتی** در فشارهای ۳، ۵ و ۷ بار انجام می‌شود. سرعت پاسخ دستگاه در شبکه **Slow** و شبکه توزین فرکانسی **A** تنظیم می‌شود. صداسنجی در سه زاویه ۳۰°، ۹۰° و ۱۳۵° نسبت به محور خروج هوا از نازل-ها انجام می‌شود. **فاصله میکروفن از نازل** به طور ثابت ۲۰ سانتی متر است. صداسنج هم ارتفاع با نازل در فاصله ۸۵ سانتی متری از زمین قرار می‌گیرد. همچنین **نیروی اعمال شده** در فشارهای ۳، ۵ و ۷ بار با استفاده از یک **ترازوی دیجیتالی** مدل پند که در فاصله ۳۰ سانتی متری از خروجی نازل‌ها قرار دارد اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت **متوسط** تراز فشار صوت و نیروی اعمال شده در زاویه‌ها و فشارهای **مختلف** محاسبه می‌شود. سپس نازل جت چندانگانه با **بهترین عملکرد کاهش صوتی** به عنوان **نازل بهینه** انتخاب، نمونه فلزی آن از جنس **استیل** ساخته می‌شود و از نظر تراز فشار صوت و نیروی اعمال شده مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

## مواد و روش کار



شکل ۱: تست نازل ها: اندازه گیری **تراز فشار صوت و نیرو**



## مواد و روش کار



شکل ۱: تست نازل‌ها: اندازه‌گیری تراز فشار صوت در زاویه ۳۰ درجه

## مواد و روش کار



شکل ۱: تست نازل‌ها: اندازه‌گیری **تراز فشار صوت** در زاویه ۹۰ درجه

## مواد و روش کار



شکل ۱: تست نازل‌ها: اندازه‌گیری **تراز فشار صوت** در زاویه ۱۳۵ درجه



## مواد و روش کار



شکل ۱: تست نازل‌ها: اندازه‌گیری **نیرو** در فاصله ۳۰ سانتی متری

## مواد و روش کار

### روش تجزیه و تحلیل داده‌ها:

با استفاده از **آمار توصیفی** متوسط تراز فشار صوت و نیروی اعمال شده توسط نازل‌های جت چندگانه و نازل لوله باز در زاویه‌ها و فشارهای کاری مختلف محاسبه می‌شود.

### محدودیت‌های پژوهش:

۱- مشکلات در **طراحی و ساخت** نازل‌ها ۲- **کم حجم بودن** کمپرسور موجود در آزمایشگاه و **تخلیه سریع** هوای فشرده

### ملاحظات اخلاقی:

در این مطالعه آزمایشی بر روی انسان انجام نمی‌شود.

### پیشنهادهات:

**طراحی اتاقک آکوستیک** در آزمایشگاه برای **اندازه گیری صدا**

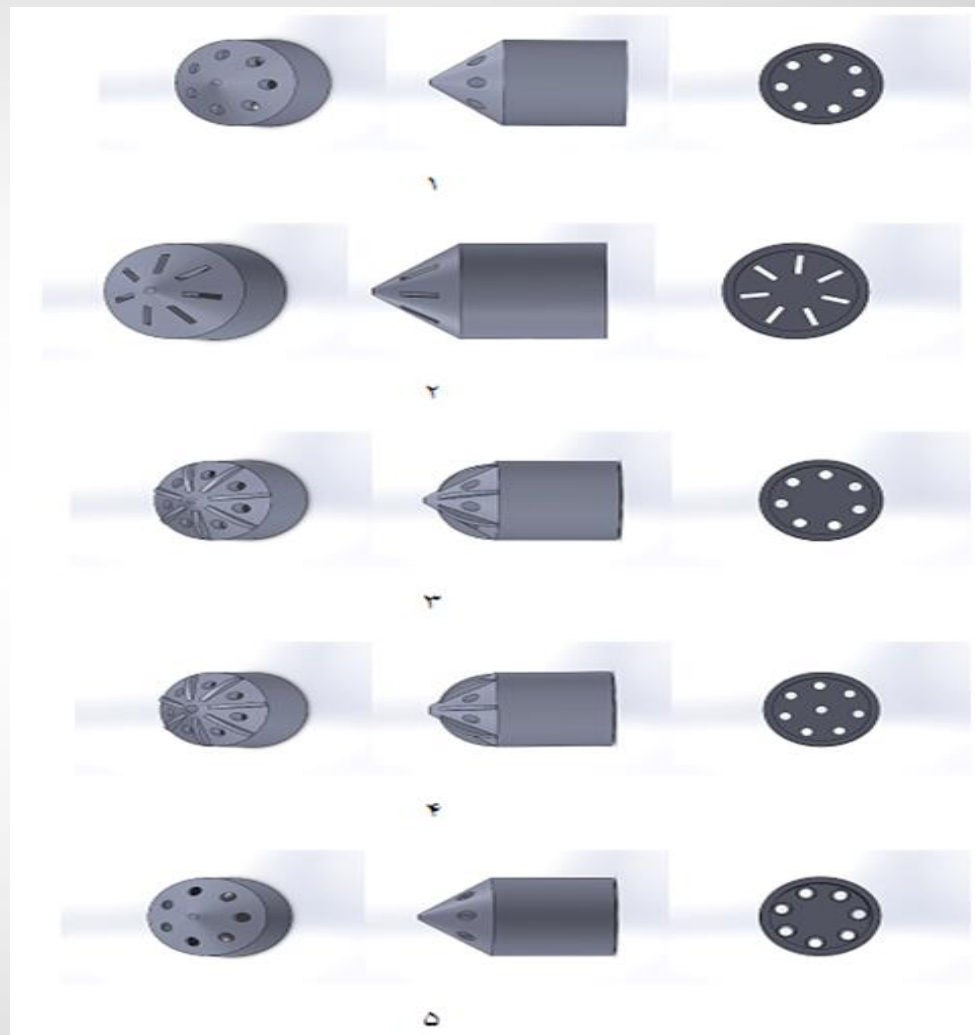


## یافته ها

فاصله بین خروجی	طول پلنوم	سطح مقطع خروجی	ابعاد خروجی	تعداد خروجی	مشخصات نوع نازل
۳/۳۶	۳۰	۲۸/۳۱	۲/۲۷	۷	نازل جت چندگانه با خروجی های دایره ای
۴/۲۲	۳۰	۲۸/۲۸	۴×۱/۰۱	۷	نازل جت چندگانه با خروجی های شکاف دار
۳/۳۶	۳۰	۲۸/۳۱	۲/۲۷	۷	نازل جت چندگانه با خروجی های مخروطی
۳/۳۶	۳۰	۲۸/۳۱	۲/۲۷	۷	نازل جت چندگانه با خروجی های دایره ای و پره دار
۳/۵۱	۳۰	۲۸/۲۲	۲/۱۲	۸	نازل جت چندگانه با خروجی های دایره ای و پره دار همراه با روزنه مرکزی

جدول ۱: مشخصات کلی انواع نازل های جت چندگانه طراحی شده

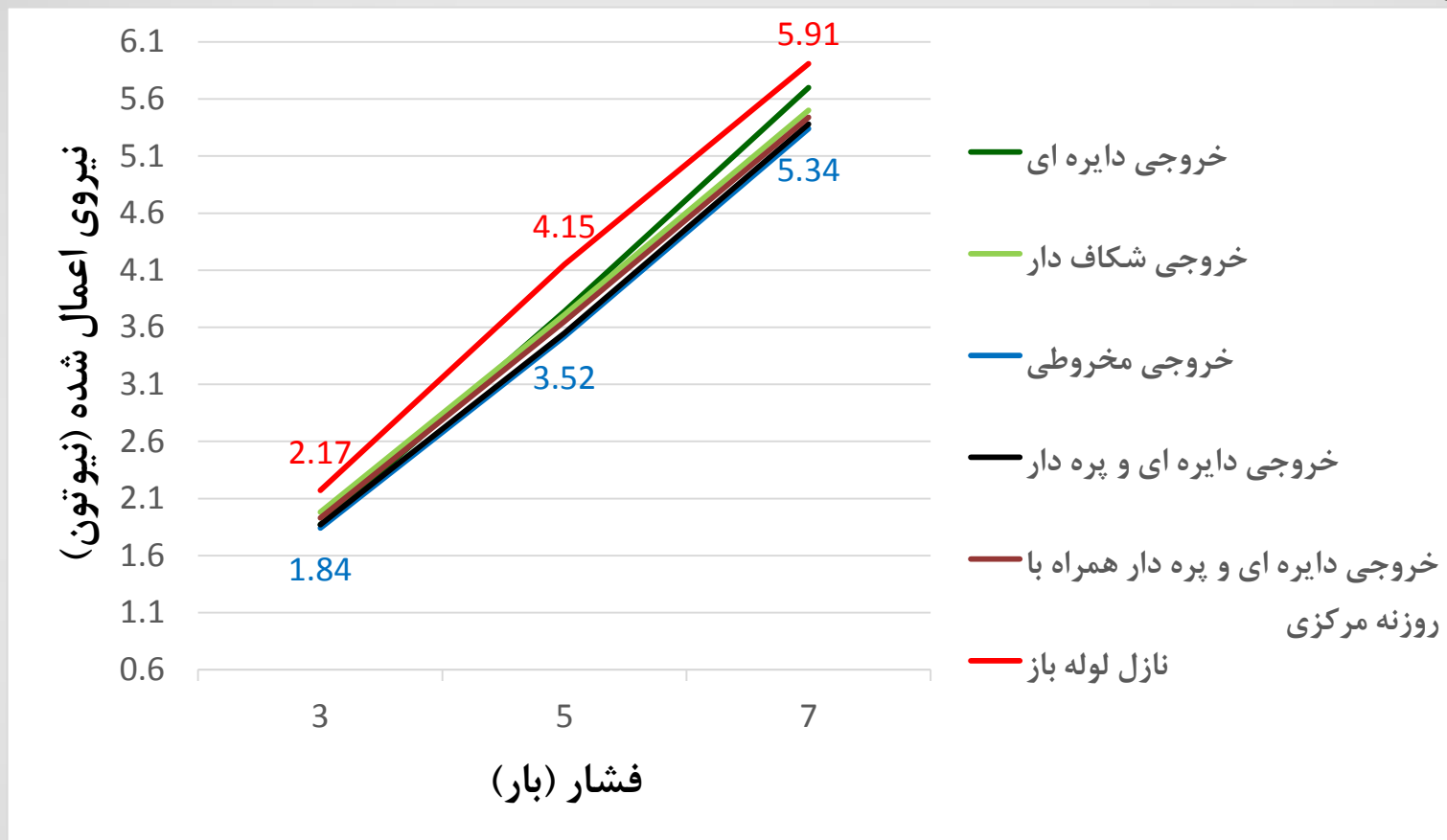
## یافته ها



شکل ۲: نازل های جت چندگانه طراحی شده:

۱- نازل جت چندگانه با خروجی های دایره ای، ۲- نازل جت چندگانه شکاف دار، ۳- نازل جت چندگانه با خروجی های دایره ای و پره دار، ۴- نازل جت چندگانه با خروجی های دایره ای و پره دار همراه با روزنه مرکزی و ۵- نازل جت چندگانه با خروجی های مخروطی

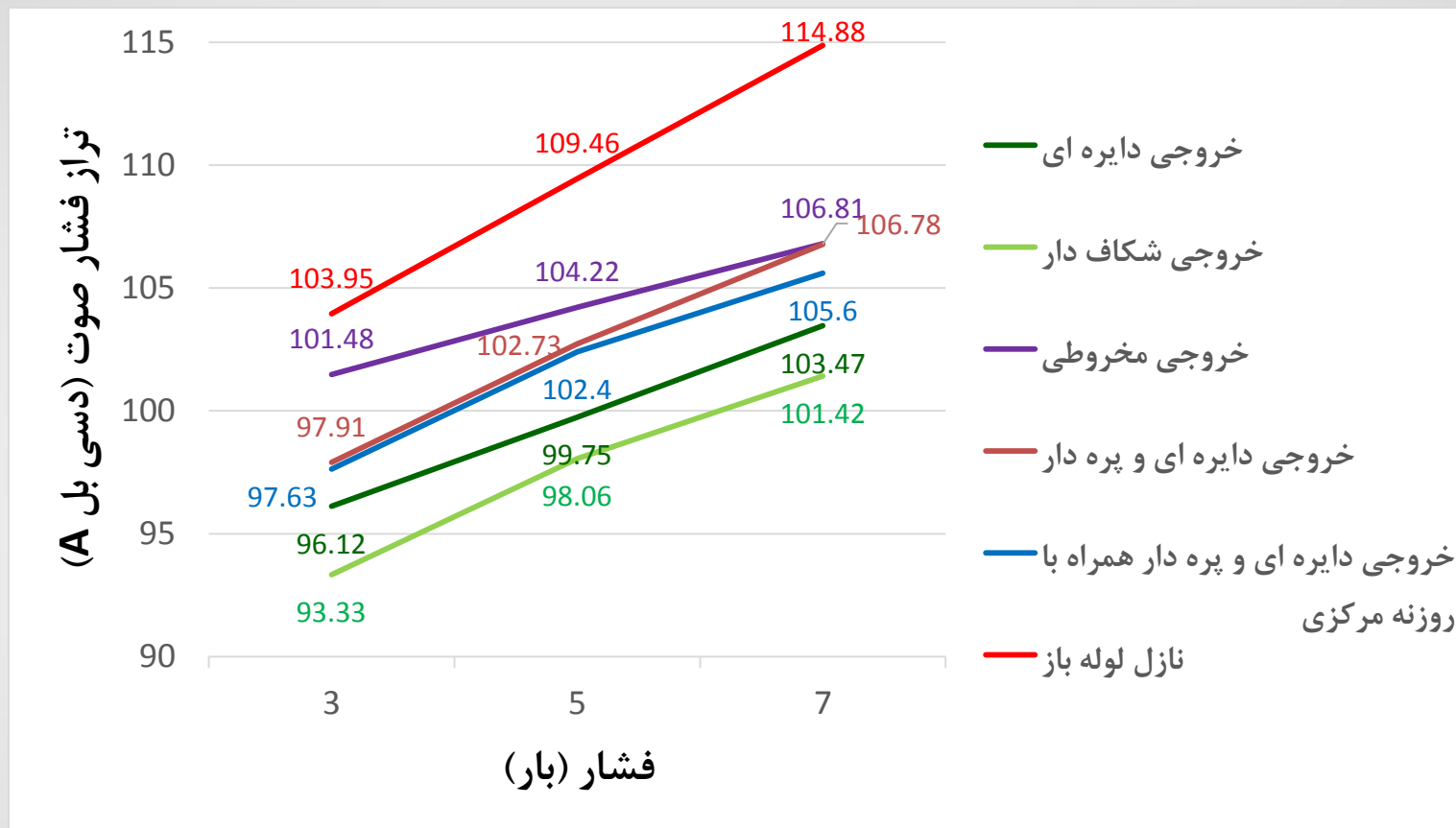
## یافته ها



نمودار ۱: مقایسه نیروی اعمال شده توسط نازل های جت چندگانه و نازل لوله باز در فشارهای ۳، ۵ و ۷ بار

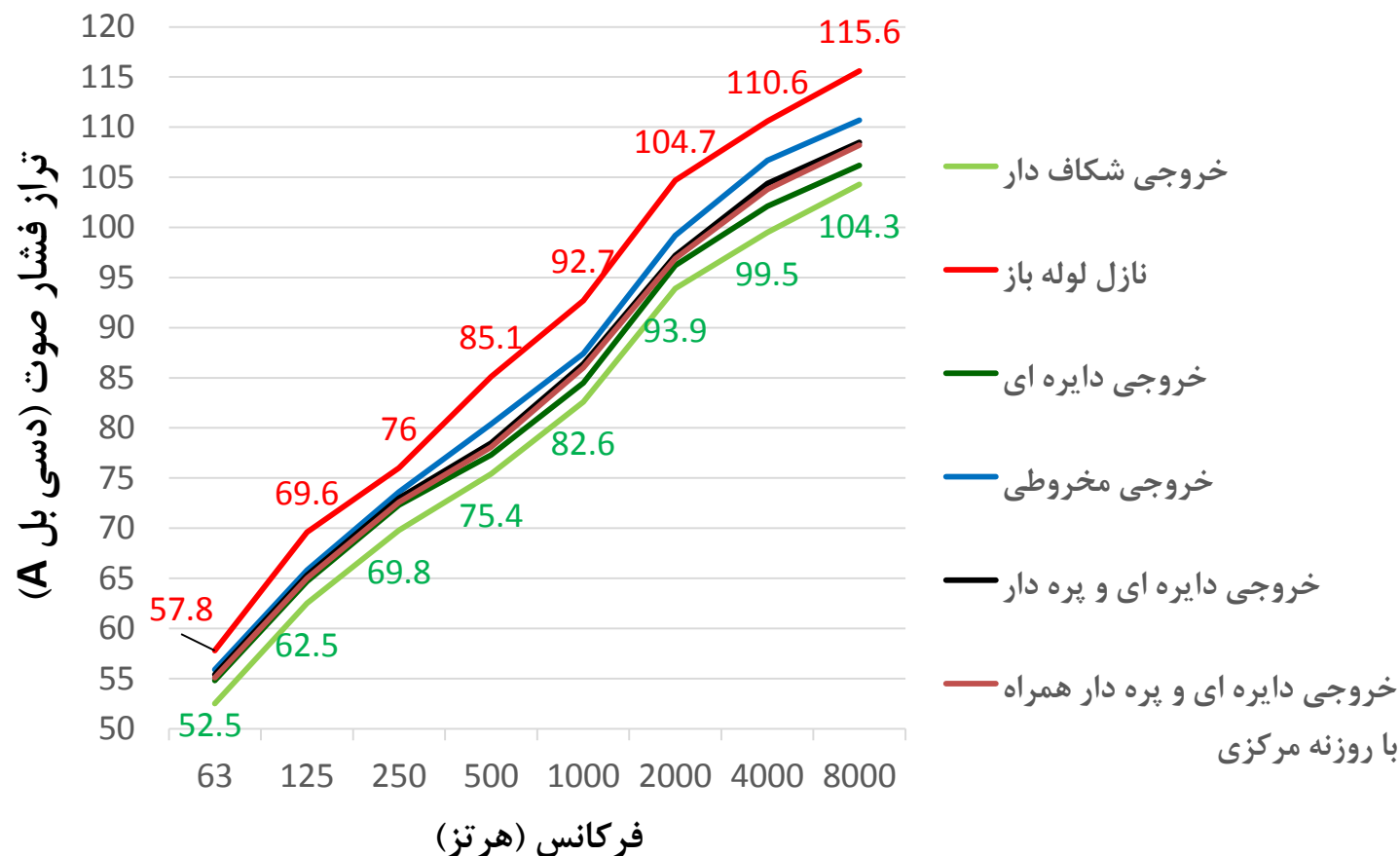


## یافته ها



نمودار ۲: مقایسه تراز فشار صوت نازل های جت چندگانه و نازل لوله باز در فشارهای ۳، ۵ و ۷ بار

## یافته ها

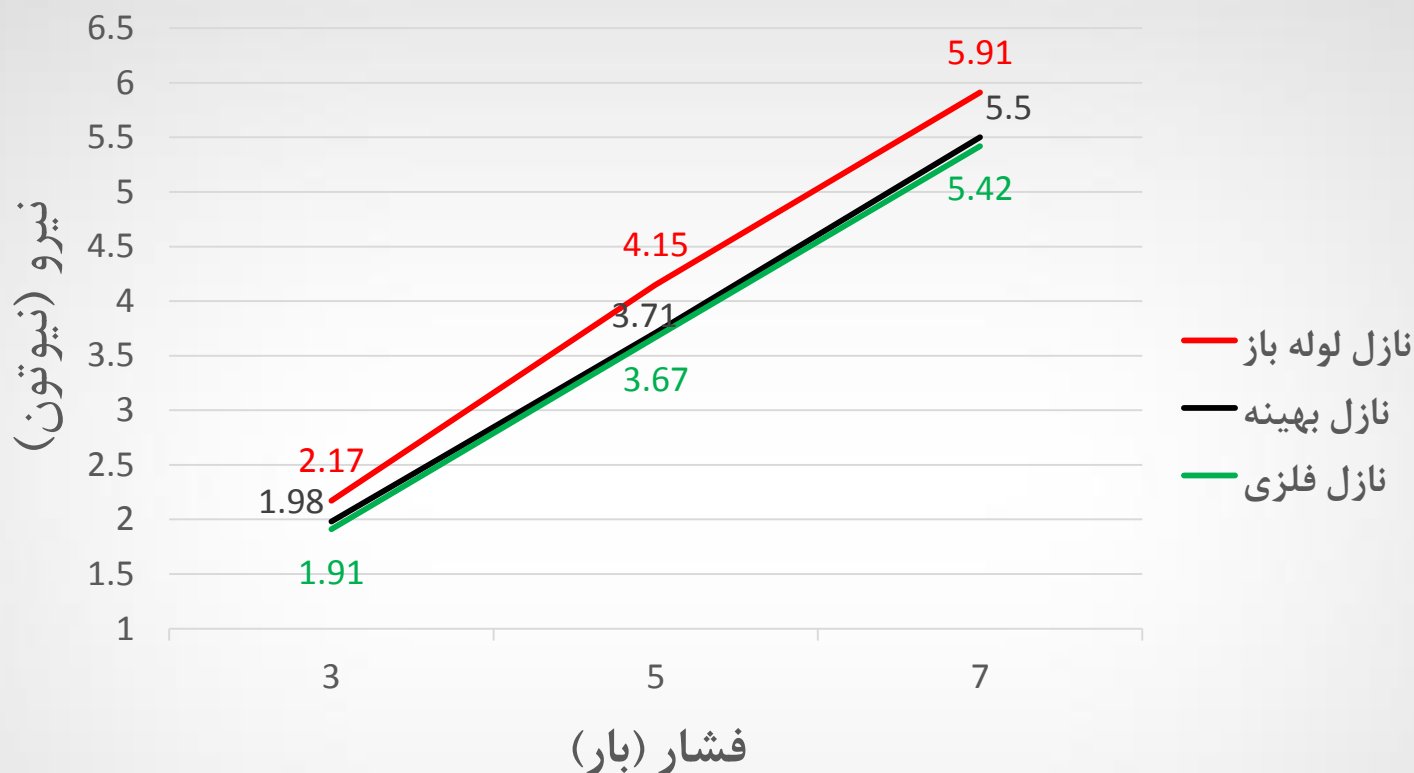


نمودار ۳: مقایسه آنالیز فرکانس صوتی انواع نازل ها در فشار ۷ بار و زاویه ۳۰°

## یافته ها

باتوجه به نتایج اندازه گیری تراز فشار صوت نازل های جت چندگانه و مقایسه با نازل لوله باز (نمودار ۲) **نازل جت چندگانه شکاف دار** با **بیشترین کاهش** تراز فشار صوت نسبت به نازل لوله باز و بهترین عملکرد کاهش صوتی به عنوان **نازل بهینه** انتخاب می شود تا **نمونه فلزی** آن ساخته شود.

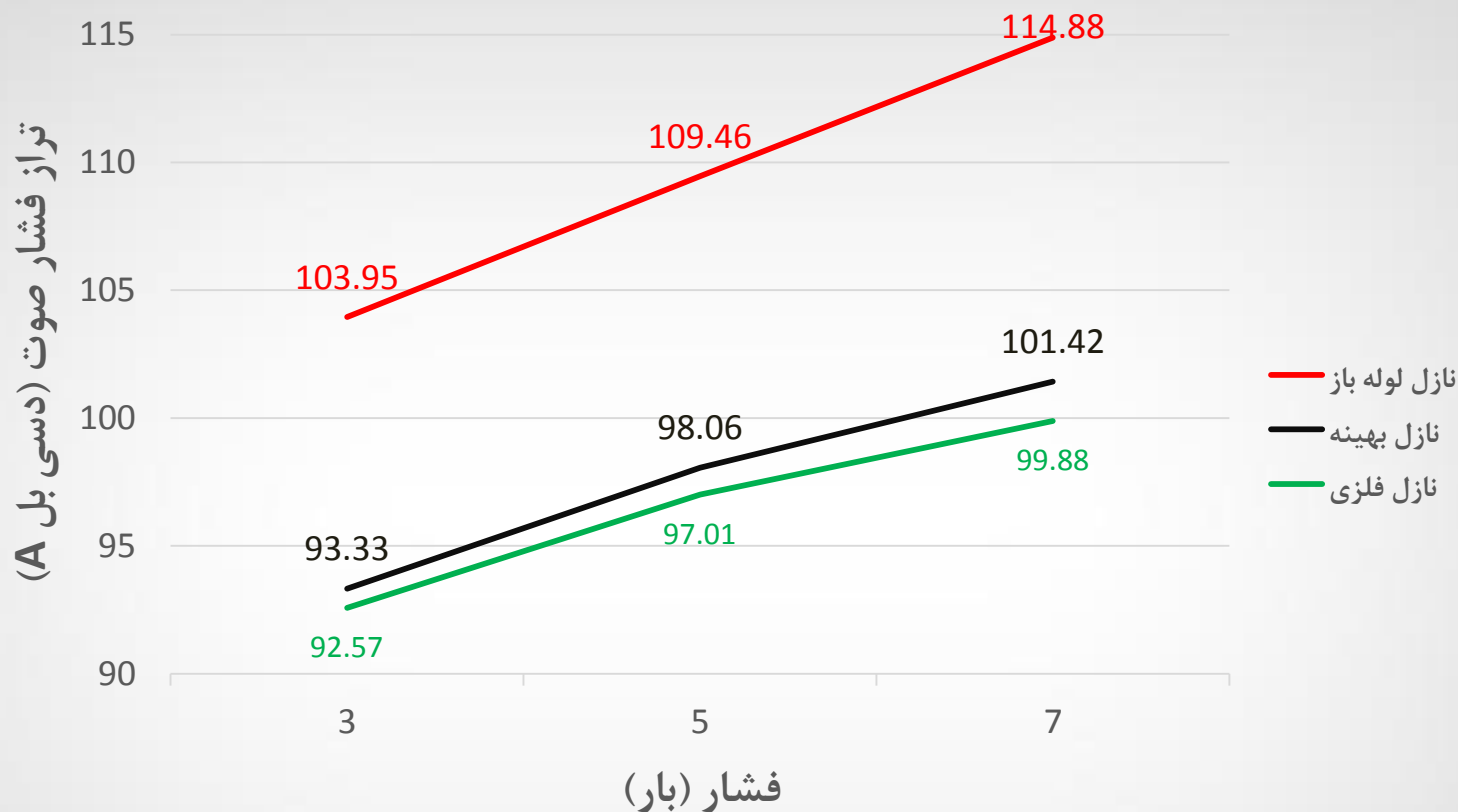
## یافته ها



نمودار ۴: مقایسه نیروی اعمال شده توسط نازل فلزی با نازل های بهینه و لوله باز در فشارهای ۳، ۵ و ۷ بار



## یافته ها



نمودار ۵: مقایسه **تراز فشار صوت** نازل فلزی با نازل های بهینه و لوله باز در فشارهای ۳، ۵ و ۷ بار



مقدمه

مروری بر منابع

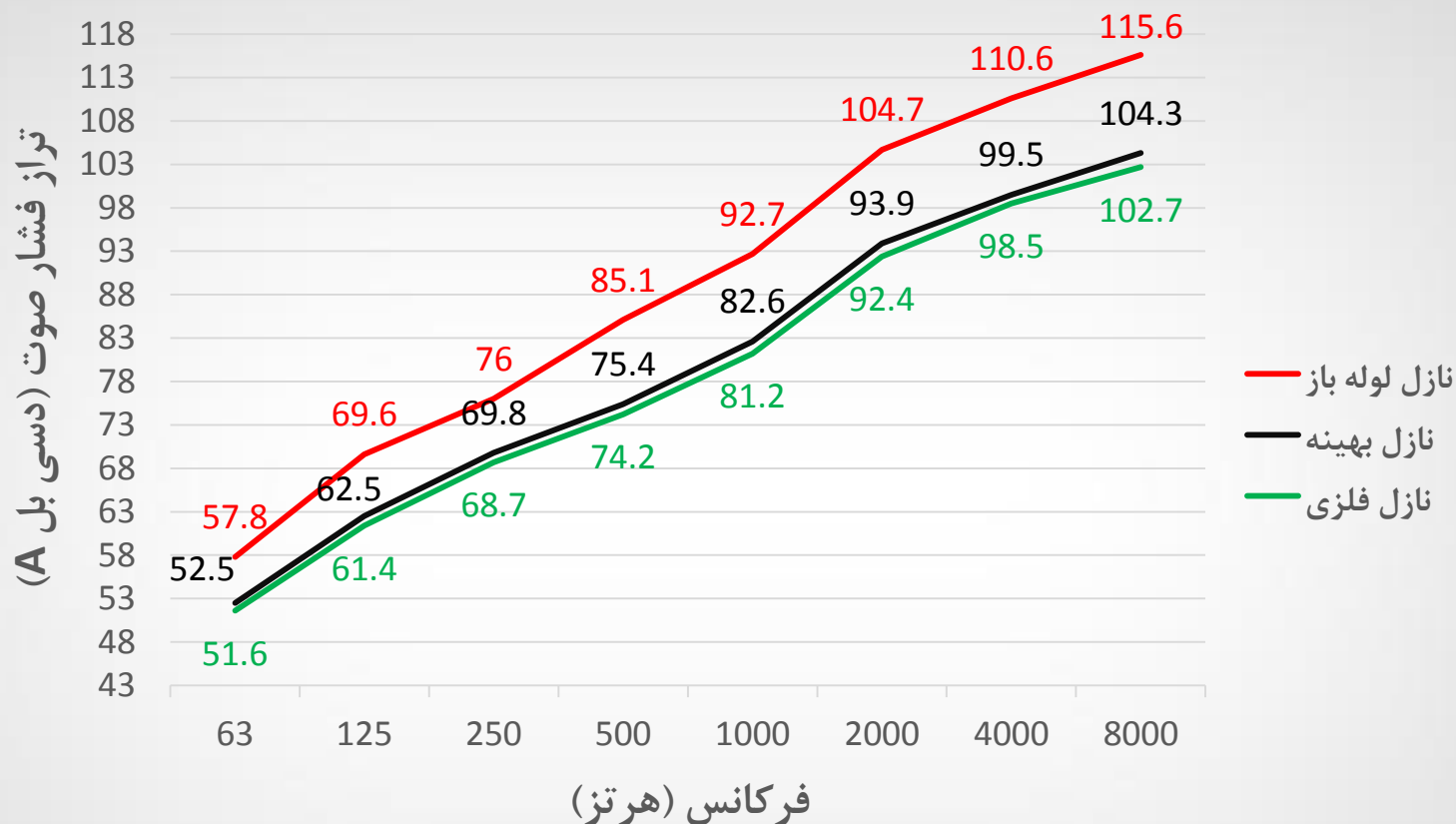
مواد و روش ها

نتایج و بحث

نتیجه گیری

پیشنهادات

## یافته ها



نمودار ۶: مقایسه آنالیز فرکانس صوتی نازل فلزی با نازل های بهینه و لوله باز در فشار ۷ بار و زاویه ۳۰°

## بحث

نازل های جت چندگانه مورد مطالعه متوسط تراز فشار صوت کمتری نسبت به نازل لوله باز دارند.

در این بین نازل جت چندگانه شکافدار با متوسط تراز  $97/06$  دسی بل و کاهش  $12$  دسی بل نسبت به نازل لوله باز به عنوان نازل بهینه انتخاب می شود. در یک مطالعه تجربی برای چهار کارخانه در برزیل اندازه گیری صدا در دو حالت استفاده از تفنگ دمش هوا با یک نازل جت تک شکاف و نازل جت چندگانه انجام شد. شکل نازل های جت چندگانه از لحاظ تعداد و آرایش سوراخ های جت تا زمانی که عملکرد جت مورد قبول اپراتور واقع شود متنوع بود. در نتیجه کاهش تراز فشار صوت بین  $5-9$  دسی بل به دست آمد. سپس پیشنهاد شد که چندین نازل برای یک کاربرد مشخص قبل از انتخاب نهایی از بین نازل هایی با صدای پایین مورد تست و آزمایش قرار بگیرد.



## بحث

در نازل‌های جت چندگانه شکاف‌دار جریان هوای خروجی دارای تلاطم کمتری است. آشفته‌گی جریان هوا به ویژه در جریان‌های با سرعت بالا باعث تولید صدای آئرودینامیک می‌شود که میزان این آشفته‌گی با توان صوت تولید شده رابطه مستقیم دارد. به این ترتیب نازل‌های جت چندگانه شکاف‌دار با الگوی جریان هوای مستقیم و آشفته‌گی کمتر نسبت به نازل‌های جت چندگانه با خروجی‌های دایره‌ای در مساحت خروجی و فشار یکسان تراز فشار صوت کمتری تولید می‌کنند.



## بحث

**عملکرد کاهش صوتی** نازل‌های جت چندگانه در فشارهای کاری مختلف مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهد، به طوری که **حداکثر کاهش صدا** در فشار ۷ **بار** و **حداقل** آن در فشار ۲ **بار** می‌باشد. نتایج بیانگر آن است که نازل‌های جت چندگانه در **فشارهای بالاتر** عملکرد کاهش صوتی **بهتری** دارند.

آنالیز فرکانس صوتی نازل‌های جت چندگانه و نازل لوله باز نشان می‌دهد که تأثیر استفاده از نازل‌های جت چندگانه در **فرکانس‌های ۵۰۰ هرتز و بالاتر** در **کاهش** تراز صدای شنیداری **قابل توجه** است. بر طبق مطالعات قبلی انجام شده، هرگونه روش کنترل صدای جت که همراه با **حفظ نیرو** باشد، در **فرکانس‌های پایین تر** بازدهی **کمتری** دارد. از آن جایی که کاهش صدا در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰۰ هرتز که در محدوده مکالمه نیز قرار دارد بیشتر بود، لذا عملکرد نازل در کاهش ترازهای صدای شنیداری قابل توجه است.



## بحث

باتوجه به اینکه سطح مقطع نازل های جت چندگانه ساخته شده و نازل لوله باز با یکدیگر برابر است **افت محسوس و قابل توجهی در نیروی اعمال شده** توسط نازل های جت چندگانه نسبت به نازل لوله باز مشاهده نمی شود. همچنین مقایسه نیروی اعمال شده توسط ۵ نازل جت چندگانه مورد مطالعه مقادیر تقریباً **یکسان و مشابهی** نشان می دهد.

## بحث

مطالعه احمدی و همکاران نشان داد که متوسط **نیروی اعمال شده** توسط نازل مرسوم **لوله باز** مورد استفاده بر روی تفنگ های بادپاش و **نازل جت چندگانه** در فشار ۲، ۴ و ۶ بار به ترتیب **۱/۳۴ و ۱/۱۹** نیوتون اندازه گیری شد که اختلاف قابل توجهی بین آن ها مشاهده نشد.

در مورد این نگرانی که نازل های جت چندگانه **نیرو** را **کاهش** می دهند، نتایج مطالعه شین نشان داد که تا زمانی که **مجموع مساحت خروجی ثابت** است **افت نیروی محسوس و قابل توجهی در سرعت جریان ثابت** مشاهده نمی شود.



## بحث

مقایسه نازل شکافدار فلزی با نازل بهینه نشان می دهد که **اختلاف قابل توجهی بین تراز فشار صوت و همچنین نیروی اعمال شده** توسط دو نازل وجود ندارد و می توان از نازل فلزی به منظور کنترل صدای ناشی از هوای فشرده در صنایع استفاده کرد.



## نتیجه گیری کلی

نازل های جت چندگانه با کاهش تراز فشار صوت و افت بسیار کم نیروی اعمال شده در مقایسه با نازل لوله باز می تواند به عنوان یک جایگزین خوب مطرح باشند. طراحی، ساخت و توسعه استفاده از نازل های جت چندگانه جهت استفاده و نصب در لوله های باز که به منظور خنک کردن، خشک کردن، پرتاب کردن و ... کاربرد دارند، می تواند نقش بسزایی در کاهش صداهای جت تولید شده در صنایع داشته باشند. همچنین باتوجه به نتایج مطالعه در فشار و مساحت خروجی یکسان بین نازل های جت چندگانه و نازل لوله باز اختلاف قابل توجهی در نیروی اعمال شده وجود ندارد.



## پیشنهادهای

### پیشنهادهای اجرایی و پژوهشی

- ✓ پیشنهاد می شود که در آینده پژوهش های بیشتری به منظور کنترل صدای هوای فشرده با استفاده از نازل های جت چندگانه انجام شود.
- ✓ باید مطالعات بیشتری در مورد تأثیر شکل هندسی نازل ها، شکل خروجی ها و جنس نازل ها که از جمله عوامل مؤثر بر نیروی اعمال شده و تراز فشار صوت باشند انجام شود تا بهترین و مؤثرین نازل ها برای کاهش و کنترل صدا در صناعی که پرسنل با هوای فشرده مواجهه دارند انتخاب شود.
- ✓ طراحی و ساخت نازل های جت چندگانه با قطرهای خروجی و فاصله بین خروجی مختلف می تواند گام مهمی در تعیین حداقل فاصله بهینه بین خروجی های یک نازل جت چندگانه باشد.
- ✓ طراحی اتاقک آکوستیک در آزمایشگاه برای اندازه گیری صدا به منظور کاهش بازتاب های صوتی

## تشکر و قدردانی

مراتب سپاس و قدردانی خویش را از سر صدق و اخلاص به محضر استاد گرانقدرم دکتر سعید احمدی که در نهایت سعه صدر و خالصانه همواره با حمایت ها و رهنمودهای ارزشمند و سازنده، اینجانب را در انجام این پایان نامه مورد محبت خویش قرار داده اند، ابراز می دارم.

همچنین از حمایت های ارزنده استاد عزیز آقای دکتر علی صفری واریانی که در کلیه مراحل تحقیق با راهنمایی و مشاوره های اندیشمندانه خود برای تکمیل و ارتقاء کیفیت این رساله کمک موثری داشتند، نهایت تشکر و قدردانی را به جای آورم.

از دانشجویان عزیز مهرداد کشاورز سیاه پوش و ابراهیم همت پور که بنده را در مرحله جمع آوری و ثبت داده ها یاری نموده کمال تشکر را دارم.



Evaluate the noise reduction performance of multiple jet nozzles with slot and circular exits for compressed air noise control.

# ADVANCES

IN MIND-BODY MEDICINE

Date: April 17, 2018

## Certificate of Acceptance

**Title of Paper:** Evaluate the noise reduction performance of multiple jet nozzles with slot and circular exits for compressed air noise control.

**Authors:** Ali Dastamooz <sup>1</sup>, Ali Safari Variani <sup>2</sup> and Saied Ahmadi <sup>3\*</sup>

*1- MSc Student of Occupational Hygiene, Department of Occupational Hygiene, Faculty of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran*

*2- Associate Professor, Department of Occupational Hygiene, Faculty of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran*

*3- Assistant Professor, Department of Occupational Hygiene, Faculty of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran; Corresponding Author*